

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**

LIGHT-EMITTING DEVICE AND ITS MANUFACTURE

Patent Number: JP5243613
Publication date: 1993-09-21
Inventor(s): YOKOGAWA TOSHIYA; others: 01
Applicant(s): MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD
Requested Patent: ☐ JP5243613

Application Number: JP19920044406 19920302

Priority Number(s):

IPC Classification: H01L33/00

EC Classification:

Equivalents:

Abstract

PURPOSE: To provide a p-n junction type blue LED(light-emitting diode) have a high light-emitting efficiency by obtaining a p-type positive hole injection layer.

CONSTITUTION: On an n-type GaN crystal 13 formed on a sapphire substrate 11, a super-lattice structure is formed, where p-type conductive GaAs 142 and GaN 141 are alternately formed in multilayer. A positive electrode is formed on a super-lattice structure 14, and a negative electrode is formed on a GaN crystal 13.

Data supplied from the esp@cenet database - I2

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公開特許公報(A)

(11)特許出願公開番号

特開平5-243613

(43)公開日 平成5年(1993)9月21日

(51)Int.Cl.

H01L 33/00

識別記号

庁内整理番号

FI

技術表示箇所

C 8834-4M

B 8834-4M

審査請求 未請求 請求項の数11(全 7 頁)

(21)出願番号 特願平4-44408

(22)出願日 平成4年(1992)3月2日

(71)出願人 000005821

松下電器産業株式会社

大阪府門真市大字門真1006番地

(72)発明者 横川 俊哉

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器
産業株式会社内

(72)発明者 久保 実

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器
産業株式会社内

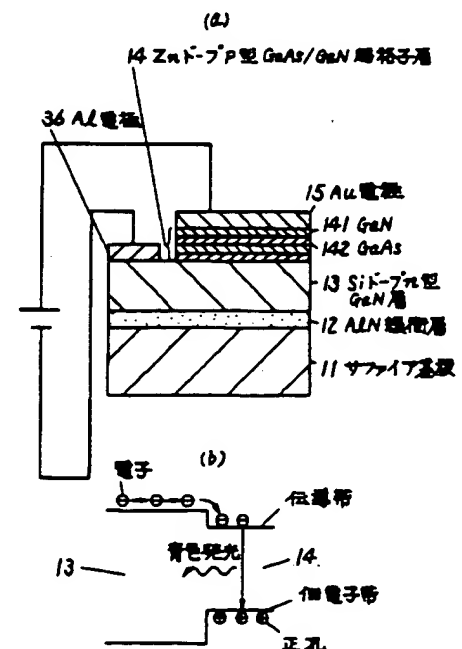
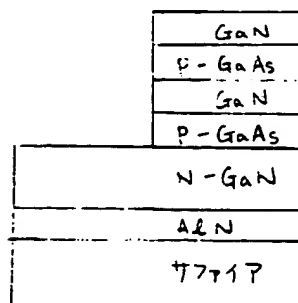
(74)代理人 弁理士 小堀治 明 (外2名)

(54)【発明の名称】 発光素子およびその製造方法

(57)【要約】

【目的】 発光素子およびその製造方法に関するもので、p型正孔注入層を得て、高い発光効率のp-n接合型青色LEDを提供する。

【構成】 サファイア基板11上に形成されたn型GaN結晶13上に、p伝導型を有したGaAs142とGaN141を交互に積層した超格子構造を形成し、超格子構造14上に正電極、GaN結晶13に負電極を形成した構成の発光素子である。



R011660

1

【特許請求の範囲】

【請求項1】 n伝導型を有したGa_{0.9}N結晶上に、p伝導型を有したGaAsまたはp伝導型を有したGaPとGa_{0.9}Nを交互に積層した構造を有し、前記GaAsまたはGaPとGa_{0.9}Nを交互に積層した構造上に正電極、前記Ga_{0.9}N結晶に負電極を備えたことを特徴とする発光素子。

【請求項2】 サファイア基板上に、n伝導型を有したGa_{0.9}N結晶、およびp伝導型を有したGaAsまたはp伝導型を有したGaPとGa_{0.9}Nを交互に積層した構造とを備えたことを特徴とする請求項1記載の発光素子。

【請求項3】 GaAs基板上にAlNとGa_{0.9}NまたはAlNとGaAsまたはGa_{0.9}NとGaAsを交互に積層した構造を有し、前記交互に積層した構造上にn伝導型を有したGa_{0.9}N結晶を有し、前記n伝導型を有したGa_{0.9}N結晶上にp伝導型を有したGaAsまたはp伝導型を有したGaPとGa_{0.9}Nを交互に積層した構造とを備えたことを特徴とする発光素子。

【請求項4】 GaP基板上にAlNとGa_{0.9}NまたはAlNとGaPまたはGa_{0.9}NとGaPを交互に積層した構造を有し、前記交互に積層した構造上にn伝導型を有したGa_{0.9}N結晶を有し、前記n伝導型を有したGa_{0.9}N結晶上にp伝導型を有したGaAsまたはp伝導型を有したGaPとGa_{0.9}Nを交互に積層した構造とを備えたことを特徴とする発光素子。

【請求項5】 MOVPE法によりSiをn型不純物としたn伝導型Ga_{0.9}N結晶を形成する工程と、前記n伝導型Ga_{0.9}N結晶上に、MOCVD法によりZnまたはMgをp型不純物としたp伝導型GaAsまたはp伝導型GaPとGa_{0.9}Nを交互に積層した構造を形成する工程と、前記GaAsまたはGaPとGa_{0.9}Nを交互に積層した構造上に正電極、前記Ga_{0.9}N結晶に負電極を形成する工程とを備えたことを特徴とする発光素子の製造方法。

【請求項6】 サファイア基板上にAlNまたはGa_{0.9}NまたはGaAs緩衝層を形成する工程と、前記緩衝層上にn伝導型を有したGa_{0.9}N結晶を形成する工程を備えたことを特徴とする請求項5記載の発光素子の製造方法。

【請求項7】 サファイア基板上にAlNとGa_{0.9}NまたはAlNとGaAsまたはGa_{0.9}NとGaAsを交互に積層した構造の緩衝層を形成する工程と、前記緩衝層上にn伝導型を有したGa_{0.9}N結晶を形成する工程を備えたことを特徴とする請求項5記載の発光素子の製造方法。

【請求項8】 GaAs基板上にAlNまたはGa_{0.9}NまたはGaAs緩衝層を形成する工程と、前記緩衝層上にn伝導型を有したGa_{0.9}N結晶を形成する工程を備えたことを特徴とする請求項5の発光素子の製造方法。

【請求項9】 GaAs基板上にAlNとGa_{0.9}NまたはAlNとGaAsまたはGa_{0.9}NとGaAsを交互に積層した構造の緩衝層を形成する工程と、前記緩衝層上にn伝導型を有したGa_{0.9}N結晶を形成する工程を備えたことを

2

特徴とする請求項4の発光素子の製造方法。

【請求項10】 GaP基板上にAlNまたはGa_{0.9}NまたはGaP緩衝層を形成する工程と、前記緩衝層上にn伝導型を有したGa_{0.9}N結晶を形成する工程を備えたことを特徴とする請求項5の発光素子の製造方法。

【請求項11】 GaP基板上にAlNとGa_{0.9}NまたはAlNとGaPまたはGa_{0.9}NとGaPを交互に積層した構造の緩衝層を形成する工程と、前記緩衝層上にn伝導型を有したGa_{0.9}N結晶を形成する工程を備えたことを特徴とする請求項5の発光素子の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、表示装置などに用いられる発光ダイオードおよびその製造方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 最近、壁掛けテレビなどのディスプレイ用光源として、実用上十分な輝度と効率をもつ青色発光ダイオード（以下、LEDと記す。）の開発が望まれている。III-V族化合物半導体であるGa_{0.9}Nは、バンドギャップが室温で3.39eVあり、直接遷移型のバンド構造を有することから、青色から紫外LED用半導体材料として期待されている。一般に、高輝度、高効率の青色LEDを実現するためには、これらの材料に不純物を添加して伝導型の制御をおこない、p-n接合構造を形成する必要がある。しかし、Ga_{0.9}Nは低抵抗のp型伝導が得にくい材料であることが知られている。

【0003】 そこで、現在までに、MIS (Metal-Insulator-Semiconductor) 構造による青色LEDの検討が数多くなされてきた。そして、室温で青色発光が得られたとの報告もいくつかある（参考文献：S.Nakamura et al.; ジャパニーズ・ジャーナル・オブ・アブライド・フィジクス Jpn. J. Appl. Phys. 30(1991)L1998., H.Amano et al.; アブライド・フィジクス・レターズ Appl. Phys. Lett. 48(1986)353）。

【0004】 従来例として、Ga_{0.9}N中にZn不純物を添加して得られたMIS型青色LEDの構造を図6に示す。61はサファイア基板、62はSiをドーブしたn型Ga_{0.9}Nエピタキシャル層、63はZnをドーブした高抵抗Ga_{0.9}Nエピタキシャル層、64および65はそれぞれAuおよびAuSn電極である。このMIS構造に順方向のバイアスをかけると、少数キャリアが注入されて発光が得られる。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】 本発明が解決しようとする課題を以下に述べる。

(1) ZnやMgの不純物をGa_{0.9}N中に添加しても、キャリア濃度 $p \sim 10^{15} \text{cm}^{-3}$ 以上の実用上十分な正孔濃度が得られないこと。

(2) 従来のMIS構造で得られる青色発光は深い単位

算で800nmから340nmまで短波長化できる。したがって、本発明によれば、実用上十分な正孔濃度をもち、かつバンドギャップが広い（短波長）p型層が得られる。

(2) GaAsとGaNを交互に積層した多重量子井戸構造またはGaPとGaNを交互に積層した多重量子井戸構造では、その状態密度は階段状の分布をもつようになり、バンドギャップ付近における状態密度が著しく増加する。そのため、室温で高い青色発光効率が得られる。

10 る。

(3) p型層を多重量子井戸構造とすることにより、子不整合のある系でも接合を形成できるため、材料の選択の自由度が増す。

(6) あらかじめ電子デバイスや光デバイスを形成したGaAsを基板として用いることで、青色LEDとこれらの電子デバイスや光デバイス(例えばGaAsFET)との集積化を可能とする。

(7) 基板にサファイア、GaAs、GaPなどを用いても、歪を有した多層構造により格子不整合差や熱膨張係数差による影響を緩和でき、高品質のエピタキシャル結晶が得られる。

【0009】

【実施例】本発明の第1の実施例を図面に基づいて説明する。図1(a)は、GaN青色LEDの構造断面図を示す。11はサファイア基板、12はAlN緩衝層、13はSiドーパ型GaN層、14はZnドーパ型GaAs/GaN超格子層である。GaAs/GaN超格子層14を構成するGaAs141とGaN142の層厚はどちらも1nmとした。GaAs/GaN超格子層14の実効的バンドギャップは、ヘテロ接合によって形成されるポテンシャル井戸中の量子準位により決定される。この井戸中に形成される量子準位の深さは井戸層および障壁層の膜厚に依存するため、GaAsおよびGaNの各層の膜厚を変えることによって、実効的バンドギャップを波長換算で約800nmから360nmまで変化できる。本実施例では超格子層14の実効的な吸収端は、440nmとなった。SiおよびZn濃度はともに $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ とした。15および16はそれぞれAuおよびAl電極である。

係数差による影響を緩和でき、高品質のエピタキシャル結晶が得られる。

【0009】

【実施例】本発明の第1の実施例を図面に基づいて説明する。図1(a)は、Ga_{0.5}N青色LEDの構造断面図を示す。11はサファイア基板、12はAl_{0.3}N緩衝層、13はSiドープn型Ga_{0.5}N層、14はZnドープp型GaAs/Ga_{0.5}N超格子層である。GaAs/Ga_{0.5}N超格子層14を構成するGaAs₁₄₁とGa_{0.5}N₁₄₂の層厚はどちらも1nmとした。GaAs/Ga_{0.5}N超格子層14の実効的バンドギャップは、ヘテロ接合によって形成されるポテンシャル井戸中の量子準位により決定される。この井戸中に形成される量子準位の深さは井戸層および障壁層の膜厚に依存するため、GaAsおよびGa_{0.5}Nの各層の膜厚を変えることによって、実効的バンドギャップを波長換算で約800nmから360nmまで変化できる。本実施例では超格子層14の実効的な吸収端は、440nmとなった。SiおよびZn濃度はともに1×10¹⁸cm⁻³とした。15および16はそれぞれAuおよびAl電極である。

40 【0010】GaAs/GaN層14を構成するGaAs層141にZnを添加すると、GaAs層141はp伝導型となり、GaAs/GaN超格子層14においては正孔がキャリアとして働くようになる。n型GaN層13および超格子構造14とでバンドギャップエネルギーの異なる2種類の半導体層を積層したシングルヘテロ構造となる。本発明の構造のバンド図を図1(b)に示す。本発明のAu電極15側に正、Al電極16側に負バイアスをかけると、Siドープn型GaN層13からZnドープp型GaAs/GaN超格子層14に電子が

50 注入され、同様にZnドープp型GaAs/GaN超格

40 【0010】GaAs/GaN層14を構成するGaAs層141にZnを添加すると、GaAs層141はp伝導型となり、GaAs/GaN超格子層14においては正孔がキャリアとして働くようになる。n型GaN層13および超格子構造14とでバンドギャップエネルギーの異なる2種類の半導体層を積層したシングルヘテロ構造となる。本発明の構造のバンド図を図1(b)に示す。本発明のAu電極15側に正、Al電極16側に負バイアスをかけると、Siドープn型GaN層13からZnドープp型GaAs/GaN超格子層14に電子が

50 注入され、同様にZnドープp型GaAs/GaN超格

40 【0010】GaAs/GaN層14を構成するGaAs層141にZnを添加すると、GaAs層141はp伝導型となり、GaAs/GaN超格子層14においては正孔がキャリアとして働くようになる。n型GaN層13および超格子構造14とでバンドギャップエネルギーの異なる2種類の半導体層を積層したシングルヘテロ構造となる。本発明の構造のバンド図を図1(b)に示す。本発明のAu電極15側に正、Al電極16側に負バイアスをかけると、Siドープn型GaN層13からZnドープp型GaAs/GaN超格子層14に電子が

50 注入され、同様にZnドープp型GaAs/GaN超格

40 【0010】GaAs/GaN層14を構成するGaAs層141にZnを添加すると、GaAs層141はp伝導型となり、GaAs/GaN超格子層14においては正孔がキャリアとして働くようになる。n型GaN層13および超格子構造14とでバンドギャップエネルギーの異なる2種類の半導体層を積層したシングルヘテロ構造となる。本発明の構造のバンド図を図1(b)に示す。本発明のAu電極15側に正、Al電極16側に負バイアスをかけると、Siドープn型GaN層13からZnドープp型GaAs/GaN超格子層14に電子が

50 注入され、同様にZnドープp型GaAs/GaN超格

40 【0010】GaAs/GaN層14を構成するGaAs層141にZnを添加すると、GaAs層141はp伝導型となり、GaAs/GaN超格子層14においては正孔がキャリアとして働くようになる。n型GaN層13および超格子構造14とでバンドギャップエネルギーの異なる2種類の半導体層を積層したシングルヘテロ構造となる。本発明の構造のバンド図を図1(b)に示す。本発明のAu電極15側に正、Al電極16側に負バイアスをかけると、Siドープn型GaN層13からZnドープp型GaAs/GaN超格子層14に電子が

50 注入され、同様にZnドープp型GaAs/GaN超格

5

子層14からSiドープn型Ga_{0.5}N層13に正孔が注入される。とくにGaAs/GaN超格子層14の実効的バンドギャップはGa_{0.5}N層13のバンドギャップより小さいため、おもにGa_{0.5}N層13からGaAs/GaN超格子層14に電子が注入され、GaAs/GaN超格子層14に高密度の電子および光子が閉じ込められる。電圧-電流特性においてはp-n接合構造の形成を示す整流特性が得られた。本構造のLEDによって、波長約440nmの強い青色発光が室温において得られた。また外部量子効率率は1%が得られた。

【0011】次に、作製の工程の一例を図2を用いて説明する。本実施例では成長方法として、常圧有機金属化学気相成長（以下、MOCVDと記す。）法を採用した。まず図2(a)のサファイア基板上に11上にAlN緩衝層12を形成し（図2(b)）、その後Siドープn型Ga_{0.5}N層13を形成した（図2(c)）。基板は（0001）サファイア基板を用いた。アルミニウムの原料としてトリメチルアルミニウム（TMA）、ガリウムの原料としてトリメチルガリウム（TMG）、窒素の原料としてアンモニア（NH₃）を用い、キャリアガスには水素を用いた。また不純物であるシリコンの原料には、シラン（SiH₄）を用いた。まず、サファイア基板11を水素気流中、1000℃でMOCVD反応炉内において加熱処理を行い、表面の欠陥を取り除く。基板の加熱処理においては、まずリアクティブイオンエッチ法などを用いて表面をエッチングした後、加熱処理を行えばその効果は上がり、エピタキシャル膜の品質が向上する。その後、TMAおよびNH₃を反応炉内に導入して、成長温度1000℃でAlN緩衝層12を形成する。TMAおよびNH₃の供給流量はそれぞれ5×10⁻⁵mol/minと3×10⁻⁵mol/minとした。総水素流量は2l/minとした。次にTMG、NH₃およびSiH₄を反応炉内に導入して、成長温度1000℃でSiドープn型Ga_{0.5}N層13を形成する。TMG、NH₃およびSiH₄の供給流量はそれぞれ5×10⁻⁵mol/min、3×10⁻⁵mol/minおよび1×10⁻⁵mol/minとした。

【0012】次に図2(d)に示すように、TMGとアルシン（AsH₃）を用いてp型GaAs層141を1nm、TMGとNH₃を用いてGa_{0.5}N層142を1nm、原料ガスを交互供給することにより交互に200周期成長させた。p型GaAs層141へのドーパントであるZnの原料にはジメチル亜鉛（DMZ）を用いた。p型GaAs層141に対しては、TMG、AsH₃およびDMZの供給流量はそれぞれ5×10⁻⁵mol/min、1×10⁻⁵mol/minおよび1×10⁻⁷mol/minとした。またGa_{0.5}N層142に対しては、TMGとNH₃の供給流量はそれぞれ5×10⁻⁵mol/min、3×10⁻⁵mol/minとした。これらの原料ガスをバルブ操作により交互に反応炉内に供給することにより

6

GaAs層141とGa_{0.5}N層142の多層構造の形成を行った。GaAs層141の成長およびGa_{0.5}N層142の成長のどちらの後にも、ヘテロ界面の急峻性を増すために10秒間の水素ガスのパージ時間をもうけ、その後次の成長を行った。

【0013】その後図2(e)に示すようにAuおよびAlの金属蒸着により電極15および16を形成した。LEDの構造はサファイア基板が絶縁体であることから、電極はZnドープp型GaAs/GaN超格子層14の一部をフォトリソグラフィを用いて反応性イオンエッチングにより、Siドープn型Ga_{0.5}N層13までエッチングした。電極はZnドープp型GaAs/GaN超格子層14にはAu15、Siドープn型Ga_{0.5}N層13にはAl16を用いた。成長後長時間エピタキシャル膜を空气中に放置すると良好なオーミック電極が得られ難くなるため成長後すぐに電極を形成することが望ましいが、それが不可能であれば、ドライエッチなどを用いてまず表面酸化膜をエッチング除去した後に電極を形成しなければならない。

【0014】ここで、p型GaAs層141とGa_{0.5}N層142の膜厚を1nmとしたが、量子効果を有する範囲内で、またコヒーレント成長の臨界膜厚範囲内であればそれぞれの膜厚を変えることも可能である。

【0015】尚、本発明の第1、第2の実施例において、基板にサファイア基板を用いたが、n型GaAs基板やn型GaP基板でも同様利用できる。

【0016】一般に、サファイア結晶は高価であり、またサファイア上にIII-V族半導体膜を成長する際非常に高度な技術を必要とする。今後、コストや大面積化を考えた場合、さらに高品質で大面積のものが安価に得られる結晶をサファイア結晶の代わりに用いることが期待される。サファイア結晶と格子定数が近いという点ではGaAs結晶が有望であり、成長前の前処理が容易であることやFETやレーザ素子との集積化のメリットなどからもGaAs結晶が基板としてもっとも有望と考えられる。また、GaP結晶も基板の候補として有望である。サファイア結晶より簡単に手に入るGaAs基板を用いることにより、図1の実施例に示した構造をGaAs基板上に作るができる。次に第3の実施例を図面に基づいて説明する。

【0017】図3においては、Ga_{0.5}N青色LEDの構造断面図を示す。31はGaAs基板、32はGaAs/GaN超格子層緩衝層、33はSiドープn型Ga_{0.5}N層、34はZnドープp型GaAs/GaN超格子層である。GaAs/GaN超格子層32および34を構成するGaAs321と341とGa_{0.5}N322と342の層厚はすべて1nmとした。GaAs/GaN超格子層34の実効的バンドギャップは井戸層および障壁層の膜厚に依存する。本実施例では超格子層34の実効的な吸収端は、440nmとなった。基板として図1ではサファイ

7

ア基板11を用いているが、図3に示すようにGaAs基板31を用いた場合は、緩衝層としてGaAs/GaN超格子層32をGaAs基板31とSiドープn型GaN層33との間に介在させることで、格子不整合差や熱膨張係数差によるミスフィット転位の発生およびその転位の伝播をより効果的に抑制でき、高品質のLED構造エピタキシャル膜が得られる。このGaAs/GaN超格子層緩衝層32を用いると、その上のSiドープn型GaN層33の転位密度は $1 \times 10^4 \text{ cm}^{-2}$ と極めて低い良質の結晶が得られた。SiおよびZn濃度はともに $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ とした。35および36はそれぞれAuおよびAl電極である。GaAs/GaN層34を構成するGaAs層341にZnを添加すると、GaAs層341はp伝導型となり、GaAs/GaN超格子層34においては正孔がキャリアとして働くようになった。

【0018】本発明のAu電極35側に正、Al電極36側に負バイアスをかけると、GaAs/GaN超格子層34の実効的バンドギャップはGaN層33のバンドギャップより小さいため、おもにGaN層33からGaAs/GaN超格子層34に電子が注入され、GaAs/GaN超格子層34に高密度の電子および光子が閉じ込められた。電圧-電流特性においてはp-n接合構造の形成を示す整流特性が得られた。本構造のLEDによって、波長約440nmの強い青色発光が室温において得られた。また外部量子効率も5%が得られた。

【0019】尚、本実施例ではn型GaN層33より負電極をとったが、GaAs基板32にn型基板をもちいて、基板から負電極をとることも可能である。

【0020】次に本発明の第4の実施例である製造の工程の一例を図4を用いて説明する。まず、GaAs基板の酸化膜を除去した後、図4(b)のように例えばMOCVD法により成長を行った。まず図4(a)のGaAs基板上に31上にGaAs/GaN超格子緩衝層32を形成し(図4(b))、その後Siドープn型GaN層33を形成した(図4(c))。基板は(001) GaAs基板を用いた。まずGaAs/GaN超格子緩衝層32はTMGとアルシン(AsH₃)を用いてGaAs層321を1nm、TMGとNH₃を用いてGaN層322を1nm、原料ガスを交互供給することにより交互に50周期成長させた。GaAs層321に対しては、TMGとAsH₃の供給流量はそれぞれ $5 \times 10^{-5} \text{ mol/min}$ と $1 \times 10^{-3} \text{ mol/min}$ 、またGaN層322に対しては、TMGとNH₃の供給流量はそれぞれ $5 \times 10^{-5} \text{ mol/min}$ 、 $3 \times 10^{-3} \text{ mol/min}$ とした。これらの原料ガスをバルブ操作により交互に反応炉内に供給することによりGaAs層321とGaN層322の多層構造の形成を行った。GaAs層321の成長およびGaN層322の成長のどちらの後も、ヘテロ界面の急峻性を増すために10秒間の水素ガスのパージ時間をもうけ、その後次の成長を行った。本実施

8

例のようにGaAs/GaN超格子緩衝層32を形成することにより、基板との格子定数差および熱膨張係数差による影響を緩和し、高品質のエピタキシャル層の形成が可能となった。

【0021】次に図4(d)に示すように、TMGとアルシン(AsH₃)を用いてp型GaAs層341を1nm、TMGとNH₃を用いてGaN層342を1nm、原料ガスを交互供給することにより交互に200周期成長させた。p型GaAs層341へのドーパントであるZnの原料にはジメチル亜鉛(DMZ)を用いた。p型GaAs層341に対しては、TMG、AsH₃およびDMZの供給流量はそれぞれ $5 \times 10^{-5} \text{ mol/min}$ 、 $1 \times 10^{-3} \text{ mol/min}$ および $1 \times 10^{-3} \text{ mol/min}$ とした。またGaN層342に対しては、TMGとNH₃の供給流量はそれぞれ $5 \times 10^{-5} \text{ mol/min}$ 、 $3 \times 10^{-3} \text{ mol/min}$ とした。この際もGaAs層341の成長およびGaN層342の成長のどちらの後も、ヘテロ界面の急峻性を増すために10秒間の水素ガスのパージ時間をもうけ、その後次の成長を行った。

【0022】その後図4(e)に示すようにAuおよびAlの金属蒸着により電極35および36を形成した。電極はZnドープp型GaAs/GaN超格子層34の一部をフォトリソグラフィを用いて反応性イオンエッチングにより、Siドープn型GaN層33までエッチングした。電極はZnドープp型GaAs/GaN超格子層34にはAu35、Siドープn型GaN層33にはAl36を用いた。さらにここでも成長後長時間エピタキシャル膜を空気中に放置すると良好なオーミック電極が得られ難くなるため成長後すぐに電極を形成することが望ましいが、それが不可能であれば、ドライエッチなどを用いてまず表面酸化膜をエッチング除去した後に電極を形成しなければならない。

【0023】ここで、p型GaAs層341とGaN層342の膜厚を1nmとしたが、量子効果を有する範囲内で、またコヒーレント成長の臨界膜厚範囲内であればそれぞれの膜厚を変えることも可能である。

【0024】さらに例えば上述のようにn型GaAs基板を用いる場合は、その上に形成する結晶として緩衝層としてAlNとGaNまたはAlNとGaAsを交互に積層した構造を用いたり、単にAlN、GaNまたはGaAsを用いることもできる。

【0025】尚、図5に示すように、本発明は、あらかじめ電子デバイスや光デバイスを形成したGaAsを基板として用いることで、青色LED51とこれらの電子デバイスや光デバイス(例えばGaAsFET52)との集積化を可能とするものである。GaAsFET52は青色LED51の駆動回路に用いている。

【0026】本発明の実施例において多重量子井戸層を構成するGaAs層のかわりに、GaP層を用いて、G

a P/GaN多重量子井戸としても同様な効果が期待できる。

【0027】

【発明の効果】本発明の効果は、本発明によれば、p伝導型正孔注入層を再現性よく容易に得ることができ、高密度のキャリアの注入と高い効率の青色発光が得られるという効果がある。そのため、従来にないLEDや半導体レーザなどの高輝度、高効率の青色発光素子が実現でき、工業的価値は極めて高い。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施例である青色LEDの構造断面図およびバンド図

【図2】本発明の第2の実施例である青色LEDの製造工程断面図

【図3】本発明の第3の実施例である青色LEDの断面図

【図4】本発明の第4の実施例である青色LEDの製造工程断面図

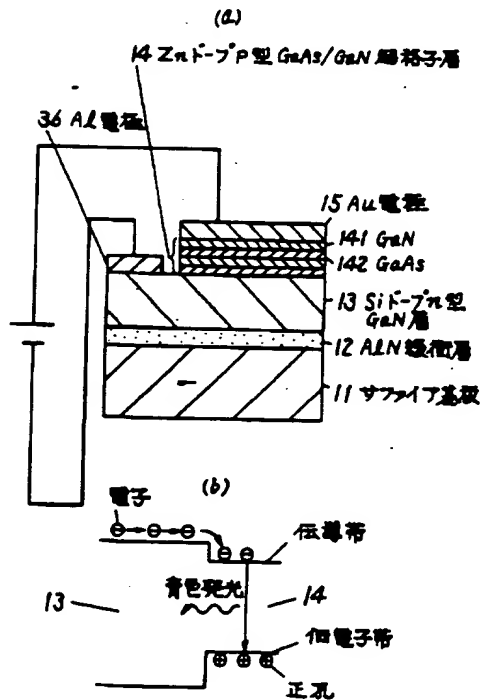
【図5】本発明の第6の実施例である青色LEDとGaAs素子との集積化素子の構造断面図

【図6】GaNを用いた従来のMIS構造LEDの構造断面図

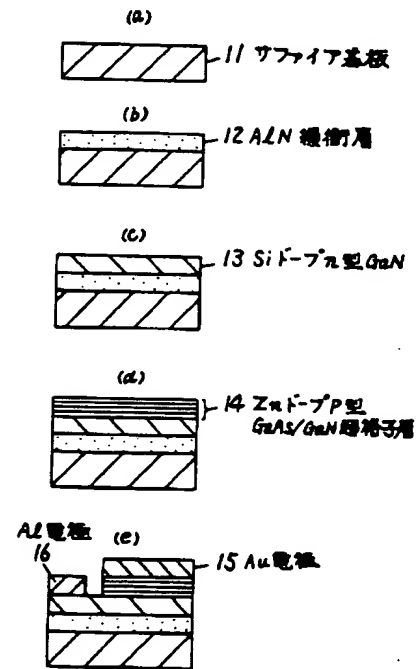
【符号の説明】

- 11 サファイア基板
- 12 AlN緩衝層
- 13 Siドープn型GaN層
- 14 Znドープp型GaAs/GaN超格子層
- 15 Au電極
- 16 Al電極
- 31 GaAs基板
- 32 GaAs/GaN緩衝層
- 33 Siドープn型GaN層
- 34 Znドープp型GaAs/GaN超格子層
- 35 Au電極
- 36 Al電極

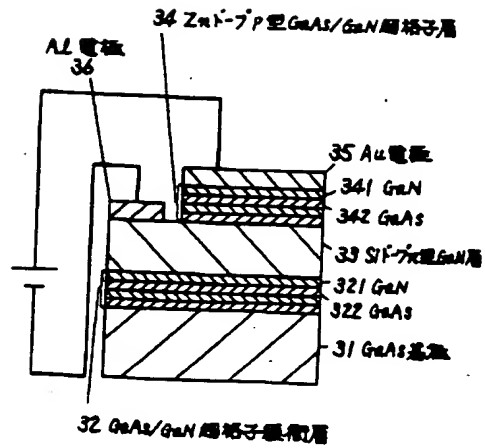
【図1】



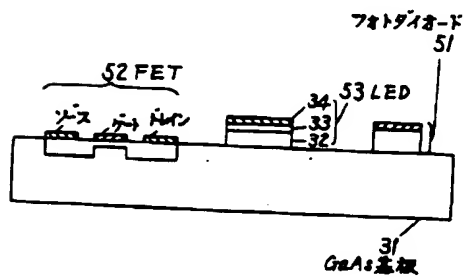
【図2】



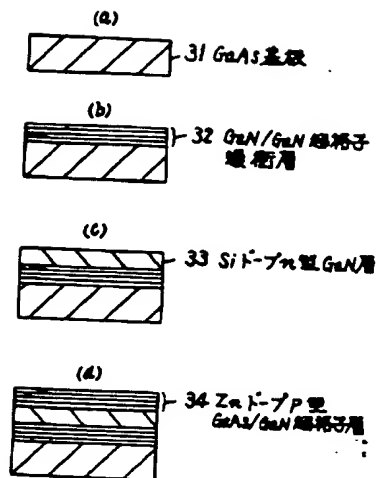
【図3】



【図5】



【図4】



【図6】

